



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI



Instrumente Structurale  
2007-2013



# Platformă de e-learning și curriculă e-content pentru învățământul superior tehnic

## Programare în limbaj de asamblare

### 2. Scurt istoric al calculatoarelor și procesoarelor (evoluție).

# Calculatoare

Momentul inițial al istoriei calculatoarelor este, de obicei, legat de numele matematicianului englez Charles Babbage. El a propus în anul 1839 o „*Mașină analitică*“, o fascinantă anticipație a structurii calculatoarelor actuale. Ideile sale au devansat cu peste 100 de ani posibilitățile tehnologice ale vremii sale. Înaintea sa, în acest domeniu, au mai fost încercările lui Leibnitz și Pascal (sec. XVII). Astfel, în 1642, Blaise Pascal inventează o mașină de calcul destinată gestiunii (adunări, scăderi, conversii între monedele europene), denumită Pascalina, ale cărei tehnologii erau asemănătoare cu acelea ale ceasurilor mecanice din acel timp. În 1694, Wilhelm Leibnitz a realizat o mașină de calcul, care realiza cele patru operații aritmetice în mod automat.

La începutul secolului XIX (1801) Joseph Jacquard a proiectat o mașină de țesut (gherghef) care putea țese automat un anumit tipar. Informația care controla ghergheful era stocată sub forma unor găuri date în cartele, astfel încât prezența sau absența găurii într-un anumit loc controla comportarea gherghefului. Într-un fel, acea cartelă perforată conținea unul din primele programe scrise vreodată.

Următorul moment de referință este anul 1937, când Howard Aiken, de la Universitatea Harvard, a propus „*Calculatorul cu secvență de comandă automată*“, bazat pe o combinație între ideile lui Babbage și calculatoarele electromecanice produse de firma IBM. Construcția acestuia a început în 1939 și s-a terminat în anul 1944, fiind denumit *Mark I*. El a fost în principal un calculator electromecanic, fiind alcătuit din comutatoare și rele. Tot în acea perioadă (1943) a fost construit și în Marea Britanie un calculator, Colossus, cu scopul de a sparge faimosul sistem de coduri german Enigma. Ambele calculatoare au fost proiectate la universitatea Harvard, cu sprijinul IBM.

Înlocuirea releelor cu tuburi electronice a constituit un important pas înainte. În anul 1942 a fost proiectat un calculator pentru calcule numerice generale. Rezultatul a fost calculatorul *ENIAC (Electronic Numerical Integrator And Computer)*, primul calculator electronic digital, proiectat la universitatea statului Pennsylvania, și construit în anii 1945-1946. El conținea circa 18.000 de tuburi electronice și executa 5.000 de adunări/s, având o memorie de 20 de numere reprezentate în zecimal. Programarea sa se realiza prin poziționarea a circa 6.000 de comutatoare, cu mai multe poziții. Pentru a introduce date și a obține rezultatele se foloseau cititoare/inscriptoare de cartele perforate. La început, primele aplicații au fost cele de calcul balistic, apoi cele de criptologie, studiul razelor cosmice, meteorologie, ca în final să fie folosit și la proiectarea primei bombe cu hidrogen.

O semnificație aparte o are faptul că în arhitectura calculatoarelor Mark I și ENIAC intrau mai multe elemente de calcul, ce lucrau în paralel la o problemă comună, fiind dirijate de o singură unitate de comandă. Această soluție a fost aleasă datorită vitezei reduse a fiecărei unități de calcul în parte. La versiunea următoare s-a renunțat la această structură paralelă de calcul, deoarece s-a considerat că viteza unei unități de calcul realizată cu ajutorul circuitelor electronice este suficientă. Soluția prelucrării paralele a fost reluată ulterior, după anii '80, pentru mărirea performanțelor unui sistem de calcul; astfel, în 1996 a fost realizat, de către firma INTEL, un supercomputer ce utilizează peste 7000 de procesoare PENTIUM, utilizând tehnica de „calcul paralel masiv“ (utilizat pentru simularea de teste nucleare, în cercetări genetice, spațiale, meteorologice).

Primul calculator comercializat a fost *UNIVAC (UNIVersal Automatic Computer)*, realizat pe structura calculatorului ENIAC, în anul 1951. Acesta se baza tot pe tuburi catodice, iar

informațiile se introduceau pe bandă magnetică, la o viteză de 40.000 biți/s. În anii următori, dezvoltarea calculatoarelor a căpătat un ritm exploziv, la mai puțin de zece ani intervenind câte o schimbare, care a fost interpretată drept apariția unei noi generații de calculatoare.

## Procesoare

Istoria microprocesoarelor începe în anul 1970, prin producerea primului microprocesor INTEL 4004, un procesor de 4 biți, care realiza calcule în BCD, cu o viteză de lucru de 60.000 operații/s. Firma INTEL (INTEgrated Ellectronics) a fost fondată spre sfârșitul anilor '60 de Robert Noyce și Gordon Moore, care au plecat de la Fairchild Semiconductor; firma și-a început activitatea cu fabricarea de circuite de memorie (RAM static de 64 biți – 3101, primul produs). Primul microprocesor pe 4 biți – 4004, cu o putere de calcul echivalentă cu aceea a calculatorului ENIAC, avea 2.300 tranzistori, avea acces la o memorie de 4 Ko, efectua 60.000 operații/s., la o frecvență de bază de 108 KHz.

În anul 1972, firma INTEL produce primul procesor pe 8 biți, 8008, cu un set de 48 de instrucțiuni, un spațiu de adrese de 16 Kocteti și o viteză de operare de 30.000 instr./s.

În anul 1974, INTEL produce microprocesorul 8080, cu un set de 72 instrucțiuni, un spațiu de adrese de 64 Kocteti și o viteză de lucru de 300.000 operații/s. (de zece ori mai mare decât 8008); o parte din circuitele auxiliare utilizate la procesorul 8008 sunt acum incluse în structura internă a versiunii 8080. Începând din 1975 se produc și primele calculatoare având la bază astfel de procesoare. Odată cu apariția primelor unități de discuri flexibile (floppy disk), produse de firma Digital Microsystems, este inventat și sistemul de operare pe disc CP/M (Control Program for Microcomputer). Tot în această perioadă încep și alte firme să producă diferite microprocesoare, cum ar fi:

- Motorola, familia 6800;
- MOS Technology, procesoarele 6501, 6502, utilizate în calculatoarele Apple II;
- Zilog, Z80, realizat de aceeași echipă care a realizat și 8080 (care a plecat de la INTEL și a constituit noua companie).

Procesorul Z80 este o variantă îmbunătățită a procesorului 8080, mai rapid și care, spre deosebire de acesta, utilizează o singură tensiune de alimentare (8080 era un procesor bipolar). De asemenea, el generează singurele semnale pentru reîmprospătarea memoriei dinamice. Ulterior și firma INTEL a realizat o variantă îmbunătățită a procesorului 8080, și anume 8085, în anul 1976.

De remarcat că, în acea perioadă, o a doua sursă de procesoare Intel era . . . AMD (Advanced Micro Devices, fondat în 1969).

Proiectanții de la INTEL au urmărit două mari obiective în proiectarea oricărui procesor:

- menținerea compatibilității totale cu procesoarele precedente;
- folosirea unor noi tehnologii de fabricație, pentru a produce procesoarele cele mai rapide și cele mai puternice.

În anul 1979 este realizat, de către firma INTEL, primul microprocesor de 16 biți (8086). Acesta a păstrat resursele procesorului 8080, pentru a păstra compatibilitatea cu softul deja scris pentru el, dar arhitectura sa internă conține două unități, ce lucrează în paralel: unitatea de execuție EU (Execution Unit), care realizează prelucrarea efectivă a datelor, și unitatea de interfață cu magistrala BIU (Bus Interface Unit), care realizează comunicația cu lumea externă. Odată cu acest procesor este produs și procesorul 8088, cu aceeași structură cu 8086, dar care comunică în exterior printr-o magistrală de 8 biți, și nu de 16 biți ca la 8086. Aparent 8088, ar

trebuie să lucreze cu o viteză de două ori mai mică decât 8086, deoarece magistrala sa fiind de 8 și nu de 16 biți, trebuie să execute două accese la memorie, față de 8086, care va executa un singur acces.

Lucrurile nu se întâmplă astfel deoarece unitatea BIU gestionează o memorie de tip coadă în care se găsesc, aproape în permanență, următorii 6 octeți ai instrucțiunilor ce urmează să se execute. Singurele momente în care coada trebuie reinițializată, și deci EU trebuie să aștepte efectiv citirea unei instrucțiuni, sunt cele care urmează după execuția unei instrucțiuni de salt. În acest mod diferența de viteză între 8086 și 8088 este doar de circa 20%.

Aceste procesoare au introdus noțiunea de segmentare a memoriei (doar în modul real): registrele de 16 biți sunt folosite ca indici de adresă într-un segment fizic de memorie de 64 Ko; registrele segment conțin adresa de bază efectivă pentru segmentele active. Procesorul care avea 29.000 tranzistori realiza 330.000 operații/s., la o frecvență de 4,77 MHz, și putea avea acces la o memorie fizică de 1 Mo, împărțită în 640 Ko disponibili sistemului de operare și programelor (memoria convențională) și 384 Ko pentru ROM-BIOS (memoria superioară). Arhitectura respectivă a fost păstrată mult timp, sistemul MS-DOS fiind special conceput pentru aceasta. Până la sistemul de operare Windows Millenium (2000), inclusiv, pentru a putea avea acces la întreaga memorie a fost necesară încărcarea driver-ului *HIMEM.SYS*, datorită necesității de compatibilitate a softului cu programele mai vechi.

O dată cu aceste procesoare apare și conceptul de coprocesor, care este un procesor dedicat, legat direct pe magistrala microprocesorului și care extinde domeniul funcțiilor realizate de microprocesor. Cel mai important coprocesor realizat de firma INTEL pentru 8086/8088 este 8087, care este un coprocesor matematic ce realizează calcule în virgulă mobilă. Primul coprocesor matematic a fost realizat, în 1979, de firma AMD (AMD 9511).

Tot în anul 1979, firma MOTOROLA începe să producă microprocesorul 68000, primul ce lucrează intern pe 32 biți, iar în exterior pe 16 biți, și care va echipa calculatoarele Macintosh începând din 1984 (ce vor da naștere unui segment aparte de piață). Arhitectura sa diferă mult de cea a procesoarelor produse anterior, deoarece a fost proiectat fără nici un fel de restricții referitoare la compatibilitatea cu alte procesoare din aceeași familie; obiectivul principal a fost obținerea unui procesor puternic, care să permită executarea tuturor instrucțiunilor cu oricare dintre registre, asupra oricăror tipuri de date și utilizând orice mod de adresare. Deoarece efortul de programare a acestui procesor, în limbaj de asamblare, a fost mai mare decât la familia INTEL, cel puțin la început procesorul 68000 nu a fost prea răspândit. De asemenea, unitatea de comandă a procesorului, spre deosebire de cea convențională a lui 8086, este microprogramată, fiind astfel mai ușor de testat, dar are dezavantajul că este ceva mai lentă. Spre deosebire de firma Motorola, firma Intel a păstrat compatibilitatea cu versiunile anterioare a fiecărui nou procesor realizat, tocmai pentru a utiliza softul deja existent în vederea exploatării imediate a noului procesor. Din acest motiv, însă, unele neajunsuri de proiectare, inițială au continuat să fie prezente și la modelele următoare.

În anul 1980, firma Sinclair a realizat calculatorul Zx80, bazat pe microprocesorul Z80, care conținea și un interpretor de BASIC. Acesta a cunoscut o foarte largă răspândire, datorită prețului scăzut față de cel al celorlalte microcalculatoare. În anul 1981, firma IBM produce primul calculator IBM PC (Personal Computer), bazat pe procesorul 8088/8086, dotat și cu un disc flexibil de 5 1/4". Impactul mare al acestui calculator s-a datorat și faptului că firma a publicat schemele acestui calculator și un listing al BIOS-ului (singurul protejat de firmă). În acest mod, multe firme au realizat echipamente compatibile IBM, făcând în acest fel reclamă, indirect, firmei IBM. Deoarece IBM a devenit un standard în domeniu, și sistemul de operare

MS-DOS (MicroSoft Disk Operating System) a devenit un standard pentru microprocesoarele de 16/32 biți, cum era sistemul de operare CP/M, strămoșul său, pentru microprocesoarele de 8 biți.

În anul următor, 1982, sunt realizate microprocesoarele 80186 și 80286. Primul este de fapt un 8086 mai rapid, prevăzut cu o serie de circuite auxiliare, care a fost utilizat pentru a realiza calculatoare compatibile cu IBM PC/XT (eXtended Technology). Al doilea a deschis epoca calculatoarelor AT (Advanced Technology). Începând din anii '80, termenul de microprocesor a fost substituit (prescurtat) cu cel de procesor, și datorită complexității din ce în ce mai mari a acestor chip-uri.

În schimb, procesorul 80286 reprezintă o etapă nouă în arhitectura microprocesoarelor, întrucât o serie de concepte clasice din domeniul calculatoarelor mari au fost transferate la acesta: multiprelucrare și multiacces, care utilizează mecanisme pentru gestiunea memoriei virtuale și pentru protecția memoriei atribuite unui proces. Spațiul de memorie fizică este și el mărit de la 1 Moctet, la 8086, la 16 Mocteti, la 286. Pe baza acestui procesor s-a realizat calculatorul IBM PC AT.

Odată cu acest procesor, 80286, a apărut termenul de „mod protejat“. Acest nou mod de lucru utilizează conținutul registrului segment (nu ca adresă de bază a segmentului, ca în modul real) ci ca un selector (index) într-o tabelă a descriptorilor de segmente. Un descriptor de segment conține adresa fizică de bază a segmentului (pe 24 de biți, oferind deci un spațiu de memorie de 16 Mo). Mecanismele de protecție a memoriei cuprind:

- verificarea depășirii limitei adresabile a unui segment;
- segmente ce pot fi doar citite;
- segmente ce pot fi doar executate;
- opțiuni (drepturi) de acces într-un segment;
- patru niveluri de protecție a codului sistemului de operare de programele de aplicație și cele utilizator;
- mecanismele de comutare de task-uri și tabelele descriptorilor locali, care permit sistemului de operare să protejeze aplicațiile sau programele utilizator unele de altele.

În anul 1983 este realizat și primul mediu de programare, constituit dintr-un editor și compilator aflate în interacțiune, adică Turbo Pascal, de către firma BORLAND.

Primul procesor de 32 biți al firmei INTEL apare în anul 1986, și este numit 80386, pe scurt 386, având 275.000 tranzistori și 132 pini. Acesta poate adresa un spațiu de adrese de 4 Gocteti, pentru un singur segment, ajungând până la 64 Tocteti de memorie virtuală. Procesorul posedă aceleași facilități ca și 286, dar dispune, suplimentar, de memorii interne rapide, fiind compatibil, la nivel de cod mașină, cu predecesorii săi. Toți urmașii săi, de la 486 până la Pentium 4, se bazează pe aceeași arhitectură, numită IA-32. Procesorul a avut două variante: 386DX și 386SX, diferența fiind că al doilea comunica cu memoria doar pe 16 biți, în rest fiind identic cu primul. Ca și 286, el adresează memoria pe 24 biți, spre deosebire de cei 32 ai lui 386DX, deci poate adresa doar 16 Mo, față de cei 4 Go ai lui 386DX.

Procesorul 80386 a introdus registre de 32 de biți pentru folosirea lor atât la operanzi, cât și pentru adrese. De fapt ultimii 16 biți din registrele de 32 de biți reprezintă registrele de 16 biți, corespunzătoare procesoarelor precedente, pentru a asigura o compatibilitate totală cu acestea. Setul de instrucțiuni de bază a fost îmbogățit cu noile moduri de adresare pe 32 de biți și cu un număr de noi instrucțiuni. La acest procesor apare implementat conceptul de paginare, pentru adresarea memoriei, cu pagini de dimensiune fixă de 4 Ko, care oferă o metodă de implementare a memoriei virtuale, mai bună decât segmentarea.

În plus, posibilitatea de a defini segmente de lungime egală cu spațiul de adresare, împreună cu

mecanismul de paginare, permit crearea unui sistem de adresare liniar protejat, mod folosit de sistemul de operare UNIX.

Pe lângă acestea s-au dezvoltat, în arhitectura procesoarelor, tehnici de procesare (prelucrare) paralelă. Astfel dacă la 8086 erau doar două unități funcționale care lucrau în paralel, structura procesorului 286 conține 4 unități funcționale ce lucrează în paralel, în timp ce procesorul 386 conține 6 unități funcționale ce lucrează în paralel. Cele 6 unități funcționale sunt:

- Unitatea de interfață cu magistrala (BIU-Bus Interface Unit), care realizează accesul la memorie și la porturile de intrare/ieșire, pentru celelalte unități;
- Unitatea de citire în avans a instrucțiunilor (Code Prefetch Unit), care ia codul obiect (codul instrucțiunii) din memorie, și îl depune într-o coadă de 16 octeți;
- Unitatea de decodificare a instrucțiunii (Instruction Decode Unit), care decodifică codul obiect din coada de instrucțiuni în microcod;
- Unitatea de execuție (Execution Unit), care execută microcodul furnizat de unitatea de decodificare;
- Unitatea de translatare a adreselor (Segment Unit), care translatează adresele logice în adrese liniare și realizează verificările de protecție;
- Unitatea de paginare (Paging Unit), care translatează adresele liniare în adrese fizice și realizează verificările de protecție legate de pagini. Această unitate mai conține un cache cu informații de lucru pentru cel mult 32 de pagini, cele mai recent accesate.

Coprocessorul lui 386 (387) este și el îmbunătățit, adăugându-i noi operații, cum ar fi funcțiile trigonometrice.

O variantă îmbunătățită a acestui procesor este 80486, produs în anul 1989, care este la fel cu 386 dar include în aceeași capsulă (chip) și coprocessorul matematic, fiind de cel puțin două ori mai rapid decât un 386, la aceeași frecvență. La acest procesor s-a dezvoltat paralelismul execuției prin expandarea unităților de decodificare a instrucțiunii și de execuție într-o bandă de asamblare (pipeline) cu cinci nivele, în care unitatea fiecărui nivel operează în paralel față de celelalte, putându-se executa, în acest mod, cinci operații în paralel. Fiecare nivel din banda de asamblare își realizează sarcina corespunzătoare pentru execuția unei instrucțiuni pe durata unui impuls de tact (ceas). În plus, față de 386, procesorul Intel 486 are un cache intern de date și de instrucțiuni, de nivel L1 (L1 cache) de 8 Ko, pentru a mări procentul instrucțiunilor care se pot executa la viteza maximă (de o instrucțiune pe impuls de ceas, incluzând și instrucțiunile cu acces la memorie, care au operanzii în cache-ul de date).

Procesorul 486 a cunoscut și el două variante: 486DX și 486SX, cea de-a doua mai ieftină, dar fără coprocessor inclus (de fapt, coprocessorul era doar dezactivat sau defect; acest procesor a fost mai degrabă un produs de piață decât o nouă tehnologie). Procesorul 486DX avea 1.2 milioane tranzistori, cu frecvențe între 25 și 50 MHz, funcționând la 5V, 168 de pini. Unele procesoare încorporează caracteristici pentru reducerea consumului sau pentru controlul sistemului, cum ar fi procesoarele Intel 386SL sau 486SL, care sunt specializate pentru sistemele portabile, alimentate de la baterii.

Dacă la primele procesoare din familia Intel x86 s-a utilizat o arhitectură complexă, denumită arhitectură CISC (Complex Instruction Set Computer), ulterior, începând cu procesorul 486, prin utilizarea conceptului de „bandă de asamblare“ (pipeline), arhitectura acestor procesoare se apropie de o structură RISC. Cercetările au arătat că o suită de instrucțiuni simple se poate executa mai rapid decât o singură instrucțiune complexă, iar diminuarea numărului de comenzi și a complexității lor permite reducerea spațiului utilizat de acestea în procesor, având ca și consecință creșterea vitezei de lucru.

Arhitectura RISC (Reduced Instruction Set Computer) a fost dezvoltată începând din anii '70. Setul de instrucțiuni într-o mașină RISC, după cum o spune și numele, constă doar din instrucțiuni simple, cu moduri de adresare limitate. Ideea de bază a fost ca, în locul unei sumedenii de operații, procesorul să ofere un set restrâns de operațiuni, pe care le poate executa foarte rapid. Cele mai multe instrucțiuni se execută într-un singur ciclu. Arhitectura unui procesor Pentium este de tip RISC. Compilatoarele generează secvențe de instrucțiuni complexe corespunzătoare. Pe lângă setul redus de instrucțiuni, procesoarele RISC mai oferă următoarele avantaje:

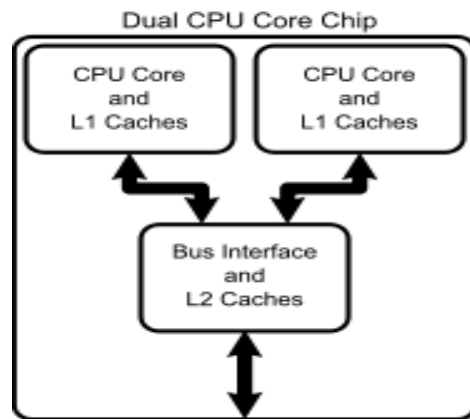
- operații cu registre, minimizând astfel necesarul de operații de acces la memorie;
- memorie cache integrată pe chip, evitându-se lucrul lent cu memoria;
- un model pipeline, pentru a permite procesarea mai multor instrucțiuni într-un ciclu.

Dezavantajul procesoarelor RISC este că, posedând un set mai mare de registre, operațiile de multitasking (multiprelucrare) necesită comutări de multe registre.

Ulterior firma INTEL a produs, în anul 1994, și un procesor pe 64 biți, denumit *PENTIUM*, tocmai pentru a-l deosebi de procesoare cu aceeași structură produse de alte firme, și denumite 586, Intel realizând că nu va putea niciodată transforma un număr (586) în marcă de comerț. Acest procesor, care marchează începuturile generației P6, a adăugat o a doua bandă de asamblare de execuție pentru a se obține performanțe superioare (cele două benzi de asamblare, denumite U și V, pot lucra în paralel, executând două instrucțiuni pe un impuls de tact). De asemenea, a fost dublată și memoria cache internă, având acum câte un cache pentru date și unul pentru cod, fiecare de câte 8 Ko.

- 1994, Pentium, 2 benzi (u,v), cache L1 separat 8Ko date + 8Ko instr., BTB(Branch Target Buffer), mag int 128 biți, APIC (Advanced Programmable Interrupt Controller); P6.
- 1996, Pentium Pro, superscalar pe 3 căi, execuție dinamică (analiză flux, execuție în orice ordine, predicție salt, execuție speculativă), 5 unit exec, L1 + L2 (256 Ko)
- 1997, Pentium MMX (8 reg 64 biți, 3 tipuri de date noi împachetate de 8-16-32 biți), 57 instr. noi, SIMD (Single Instruction Multiple Data), L1 dublat, alg. predicție îmb.
- 1998, Pentium II = Pro + MMX, SECC (Single Edge Contact Cartridge);
- 1999, Pentium III = II + arh. SSE (Streaming SIMD Extension), 70 instr., 4\*32 biți (virgulă mobilă, simplă precizie)= 128 biți.
- 2001, Pentium 4, extinde SIMD, SSE 2, pt. real dublă precizie, NetBurst (MP, Hyper-Threading, superbandă-20 nivele/ față de 12 la PII/ PIII), L1: 8Ko date + 12 K micro-operații "trace cache".
- 2001, arhitectura Itanium, extindere a execuției paralele, predictive și speculative; L3 (2 sau 4 Mo), L2 (96 Ko, linie 64 oct., 6 căi).
- 2002, Itanium 2 mărește performanța de 1.5-2 ori.
- Procesoare INTEL:
  - familia P6 (1995-1999): Pro, II, III
    - bandă de asamblare superscalară (2-3 instr/ciclu);
    - extensia SSE, set 8 registre, XMM, pe 128 biti (real-sp) + reg. control/stare de 32 biți;
  - familia Pentium 4 (2000-2006)

- micro-arh NetBurst (viteza dubla UAL/intregi, executie dinamica avansata, imb alg predictie, expandare reg cu redenumire, dim cache 64 octeti);
- **SSE2**, set registre pe 128 biti (real-dp, intregi), instrucțiunile utiliz. reg. XMM, MMX și reg. gen;
- procesoarele Xeon și Pentium Extr Ed (2001-2007)
  - micro-arh NetBurst, tehnologia Hyper-Threading, 64 biți;
  - instrucțiuni **SSE3** (virg. mobilă, sincronizare multi-thread), **SSSE3**-Supplemental Streaming SIMD Extensions (instr. accelerează prel. semnal și MM), **SSE4** cu 2 componente: **SSE4.1**-media, imagine, 3D și **SSE4.2**-prel text/string, 128 biți.
- Microarhitectura Intel Core :
  - **Execuție dinamică largă**
    - fiecare nucleu (core) fetch, decod, execută 4 instr/ciclu;
    - Bandă asamblare 14 niveluri, 3 UAL, 4 decod, predict av;
  - **Cache inteligent avansat**
    - rată mare pentru nivel 2 cache: < 4M și asociativitate pe 16 căi;
    - mag internă 256 biți pentru transferul L1-L2;
  - **Acces la memorie inteligentă**
    - reduce cache-miss pentru execuția în orice ordine;
    - hard prefetch ce reduce latența pt cache-miss la L2;
    - hard prefetch ce reduce latența pt cache-miss la L1;
  - **Îmb. prelucrării de date media digitale**
    - execuție pe singur ciclu pt. maj. instr. SIMD pe 128 biți;
    - execuția până la 8 operații în virgulă mobilă/ciclu



- Procesoarele inițial dezvoltate ca uni-core
- Procesor multi- core (Intel Core Duo, cu 2 core-uri, Intel 2010 core, cu 4 core, Intel Core i7 Ultimate, cu 6 core):
  - implementează multiprocesarea
  - pot fi puternic sau slab cuplate:
    - partajează memorie cache
    - comunicație prin mesaje sau memorie partajată inter-core
- Performanța limitată de procentul de soft ce poate fi paralelizat să ruleze simultan pe coruri multiple



- Unele metode de paralelism la nivel instrucțiune (ILP) precum asamblarea superscalara sunt adecvate
- Consum mai mic decât două procesoare single-core cuplate, nemaifiind necesară transmitere semnale în afara procesorului
- Procesoarele multi- core partajează aceleași circuite: cache L2, interfața cu FSB(Front Side Bus);
- Necesită ajustări atât ale SO cât și ale softului aplicațiilor curente;
- Softul multi-thread mai greu de depanat, dar tehnicile de programare paralelă pot beneficia direct de multiple core-uri.
- Administrarea concurenței:
  - partiționare/ descompunere problemă în taskuri,
  - Comunicare între taskuri,
  - Aglomerare versus combinare taskuri pentru a furniza un număr mai mic de taskuri, fiecare de o dimensiune mai mare (replicare date sau calcule, pentru eficiență),
  - Maparea specifică unde se execută fiecare task

